



REC'D 16 MAR 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 61 673.6

Anmeldetag: 31. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber: Dr.-Ing. Robert R i e n e r , 85591 Vaterstetten/DE;
Dr. med. Rainer B u r g k a r t , 80469 München/DE.

Bezeichnung: Interaktive Lehr- und Lernvorrichtung

IPC: G 09 B 5/06

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 25. Februar 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Rostemeyer

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung, die es erlaubt, vorzugsweise dreidimensionale Gegenstände, wie anatomische Modelle oder auch Modelle und Ausstellungsstücke für Museen und Messen zu erläutern und zu demonstrieren. Erfindungsgemäß ist das Modell 1 über wenigstens eine Mehrkomponenten Kraft- und Momentenmeßvorrichtung 2 fest mit der Umgebung verbunden, weist eine Speicher- und Auswerteelektronik und eine optisch-visuelle und/oder akustische Anzeigevorrichtung auf. Die Kraft- und Momentenmeßvorrichtung 2 wandelt die bei einer Berührung des Modells 1 auftretenden Kräfte und Momente in elektrische Meßsignale um, die der Speicher- und Auswerteelektronik zugeführt werden, wobei in der Speicher- und Auswerteelektronik aus den bei der Berührung ermittelten Kräften und Momenten die Berührungsstelle errechnet und als Signal mittels der optisch-visuellen und/oder akustische Anzeigevorrichtung der Bedienperson angezeigt wird.

-1a-

5

Interaktive Lehr- und Lernvorrichtung

- 10 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung, die es erlaubt, vorzugsweise dreidimensionale Gegenstände, wie z. B. anatomische Modelle oder auch Modelle und Ausstellungsstücke für Museen und Messen zu erläutern und zu demonstrieren.

- 15 Im Bereich der medizinischen Ausbildung oder bei medizinischen Demonstrationen werden häufig anatomische Modelle aus Kunststoff oder anderen Materialien eingesetzt. Zur Erläuterung oder Hervorhebung bestimmter anatomischer Bereiche ist es häufig zweckmäßig, die entsprechenden Bereiche durch Beschriftungen oder farbliche Merkmale kenntlich zu machen.

- 20 Problematisch bei derartigen Modellen ist, daß aus Platzgründen die mittels Beschriftung zu vermittelnde Information nicht besonders umfangreich sein kann. Oft fehlt eine Beschriftung ganz, weil z. B. die Textur des Modells (Färbung, feine Gefäße, Nerven usw.) erkennbar bleiben soll. Die Namen und Informationen zu den entsprechenden Modellbereichen sind dann auf einem Blatt Papier aufgelistet. Die
- 25 Zuordnung geschieht über Nummern, die auf dem Modell aufgezeichnet sind oder durch Skizzen oder Fotos, auf denen die entsprechenden Modellbereiche ersichtlich sind. Die Identifikation der interessierenden Modellbereiche ist daher häufig sehr umständlich und unübersichtlich.

- 30 Gleiche Probleme gibt es auch bei der Gestaltung von dreidimensionalen Demonstrationsmodellen, die in Museen oder auf Messen gezeigt werden, wobei es sich

„Über Fernkopierer eingegangen
Seite(n)-Deutsches Patent-
und Markenamt“

Im Gegensatz zu den medizinischen Modellen auch um das Originalobjekt handeln kann, wie z. B. ein Oldtimer-Fahrzeug in einem Automuseum.

Auch bei diesen Museen- und Messern Modellen ist es häufig zweckmäßig, zur Erläuterung, Beschreibung oder Hervorhebung bestimmter Bereiche oder Elemente des Modells, diese durch Beschriftungen oder farbliche Merkmale kenntlich zu machen. Häufig werden hierbei auch elektrische Schalter verwendet, die – bei Berührung am Modell oder entfernt davon – dafür sorgen, daß ein bestimmter Modellbereich mittels Glühlämpchen sichtbar gemacht oder durch einen aufleuchtenden Schriftzug erklärt werden. Für spezielle Anwendungen werden sogenannte Touchpads eingesetzt, die auf der Basis matrixförmig angeordneter Meßfühler die Erfassung einer flächigen Kraftverteilung ermöglichen, vergl. z. B. DE 36 42 088 C2. Der Nachteil derartiger Anordnungen besteht darin, daß sich zwischen dem berührten Modell und dem Bediener die Sensorkomponenten befinden, so daß häufig die ursprünglichen Berührungseigenschaften, wie Oberflächenbeschaffenheit, Form und Farbe verfälscht werden. Außerdem muß das zu berührende Modell bearbeitet werden, um die Meßfühler zu befestigen. Dadurch wird das Modell verändert oder sogar beschädigt. Um eine ausreichend hohe räumliche Auflösung über den gesamten relevanten Modellbereich zu erzielen, muß zudem eine große Anzahl von druckempfindlichen Sensoren verwendet werden.

Teilweise behoben werden diese Nachteile bei der Verwendung von sogenannten Navigations- oder Trackingsystemen, die den Berührungspunkt nicht modellseitig, sondern bedienerseitig, z. B. durch Tracking des Bedienerfingers oder des Instruments, erfassen. Der gerätetechnische Aufwand zur Detektion der Bedienerbewegungen ist jedoch unverhältnismäßig hoch.

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, verbesserte Modelle für Lern- und Demonstrationszwecke bereitzustellen, die insbesondere vorstehend aufgeführte Nachteile überwinden.

- 5 Diese Aufgabe wird mit einer Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 und 2 gelöst:

Nach Anspruch 1 wird eine Lehr- und Lernvorrichtung mit folgenden Merkmalen bereitgestellt: Ein 3D-Körper, der das Modell darstellt, ist über wenigstens eine elektrische Mehrkomponenten Kraft- und Momentenmeßvorrichtung fest mit der
10 Umgebung verbunden. Bei einer Berührung des 3D-Körpers werden die auftretenden Kräfte und Momente in elektrische Meßsignale umwandelt, die einer Speicher- und Auswerteelektronik zugeführt werden. In der Speicher- und Auswerteelektronik ist ein mathematisches Modell von der Geometrie des 3D-Körpers implementiert. Unter Geometrie soll nachfolgend mindestens jeder Bereich der Ober-
15 fläche des Modells verstanden werden, der berührt werden kann und erklärt werden soll, d. h. z. B. auch Körperhöhlungen bei einem Anatomiemodell. Weiterhin ist ein aus dem Stand der Technik an sich bekannter Algorithmus implementiert, der aus den bei der Berührung ermittelten Kräften und Momenten die Berührungsstelle am 3D-Körper errechnet, die mittels einer Anzeigevorrichtung angezeigt
20 wird. Die Art der Anzeige ist frei wählbar und gemäß dem zu erreichenden Zweck ausgebildet. Vorzugsweise werden optisch-visuelle und/oder akustische Anzeigevorrichtung eingesetzt.

Die Erfindung nach Anspruch 2 ordnet sich als eigenständige Erfindung dem gleichen Grundgedanken wie der Erfinder nach Anspruch 1 unter. Der grundlegende Unterschied besteht jedoch darin, daß in der Speicher- und Auswerteelektronik
25 kein mathematisches Modell abgelegt ist, sondern eine Datentafel, in der vorbestimmte Berührungspunkte gespeichert sind. Diese Berührungspunkte werden durch Teaching, d. h. durch gezielte Berührung implementiert. Wird einer dieser
30 Berührungspunkte z. B. mit dem Finger berührt, werden die ermittelten Kräfte und Momente mit den in der Datentafel gespeicherten Werten verglichen. Mittels des

Zuordnungsalgorithmus wird die berührte Stelle ermittelt und mittels der Anzeigevorrichtung angezeigt. Im Gegensatz zur Erfindung nach Anspruch 1, bei der prinzipiell jeder beliebige Punkt ermittelt wird, sofern er durch das mathematische Modell erfaßt ist, können bei der Erfindung nach Anspruch 2 im wesentlichen nur die vorher geteachten Punkte erkannt werden.

Das Modell ist über eine einzige Mehrkomponenten Kraft- und Momentenmeßvorrichtung fest mit einem Tisch, einer Wand, einer Decke oder sonstigem Untergrund verbunden. Aus Gründen der besseren mechanischen Stabilität können auch mehrere Kraftmeßvorrichtungen oder nicht-sensorisierte Verbindungselemente verwendet werden. Mehrkomponenten Kraft- und Momentenmeßvorrichtung gehören zum Stand der Technik und werden als Module kommerziell angeboten.

Herausragend im Vergleich zu den bisher bekannten Vorrichtungen ist, daß die berührungsempfindliche Sensorik nicht am Berührungspunkt des Modells angeordnet ist, sondern sich als Verbindungselement zwischen Modell und Umgebung befindet. Daher braucht das Modell nicht aufwendig bearbeitet zu werden.

Der geschilderte Aufbau erlaubt es, die von einem Bediener berührten Modellbereiche, -punkte oder -elemente visuell und/oder akustisch zu erläutern, zu beschreiben oder hervorzuheben. Die dargestellten Informationen können z. B. der Name, bestimmte Eigenschaften und Funktionen des identifizierten Modellbereichs bzw. -elements sein. Die Informationen werden beispielsweise über das Sichtgerät lesbar bzw. visuell erkennbar und/oder über Lautsprecher hörbar gemacht. Auch Filme oder grafische Animationen können je nach Einstellungen und Bedieneraktionen eingespielt werden. Ferner können der ermittelte Kraftbetrag und die ermittelte Kraftrichtung im Datenprozessor weiterverarbeitet und z. B. als Vektorpfeil grafisch animiert oder als akustisches Signal wiedergegeben werden. Bringt der Bediener z. B. zu hohe Kräfte auf das Modell auf, so kann ein visuelles oder akustisches Warnsignal oder eine Warnstimme dafür sorgen, daß der Bedie-

ner vom Modell ablöst, um eine Zerstörung des Modells oder Kraftsensors zu vermeiden.

Die mathematische Repräsentation des verwendeten Modells kann mittels 3D Scannern (CT, Kernspintomograph, Laserscanner, usw.) bestimmt und im Datenprozessor gespeichert werden. Beim Teachingverfahren werden die entsprechenden Modellbereiche berührt, die dabei auftretenden Kräfte und Momente gemessen und gespeichert und z. B. durch Texteingabe zugeordnet. Das Zuordnungsverfahren kann dabei durch moderne Techniken, z. B. durch künstliche neuronale Netze, unterstützt werden. Sobald in der späteren Anwendung vergleichbare Kräfte auftreten, wie im Teachingverfahren gemessen wurden, so wird das berührte Element automatisch erkannt.

Das geometrische Abbild des Modells kann auch grafisch animiert dargestellt werden. Bei der Berührung bestimmter Modellbereiche können diese dann in der Animation z. B. farblich oder mittels eines Pfeils kenntlich gemacht werden. Es können auch feinste Details, die in der Nähe des Berührungspunkts vorhanden sind, aber aus Platzgründen am realen Modell nicht markiert sind, über das Sichtgerät visualisiert werden.

Auf dem Modell oder innerhalb bestimmter vordefinierter Modellbereiche können verschiedene, optisch z. B. durch Farbe, Größe, Form, Beschriftung voneinander unterscheidbare Menüpunkte markiert sein. Bei der Berührung eines dieser Menüpunkte wird dann, je nach Art des Punktes, eine bestimmte Reaktion ausgelöst oder eine Menüfunktion ausgeführt, die akustisch oder grafisch angezeigt wird.

Alternativ oder ergänzend zu optisch unterscheidbaren Punkten können auch bestimmte Berührungsmuster mit typischen Kraft-Zeit-Verläufen zu verschiedenen grafischen und akustischen Reaktionen führen. Solche Berührungsmuster sind beispielsweise, lange oder kurze Kontakte, leichtes oder festes Anpressen, sowie Klopfzei-

chen mit unterschiedlicher Anzahl von Klopfschlägen, so wie z. B. der Doppelklick
Im Programm Windows zum Öffnen eine Datei führt.

Die Erfindung kann in zwei verschiedenen Modi bedient werden. Die oben be-
5 schriebene Funktion stellt den sogenannten Normalmodus dar, bei dem die Berüh-
rung eine graphische und/oder akustische Reaktion liefert. Im sogenannten Abfrä-
gemodus kann zunächst eine graphische oder akustische Aufforderung an den
Bediener gegeben werden, z. B. einen bestimmten Modellbereich zu berühren.
Der Bediener, z. B. ein zu prüfender Student, berührt dann den vermeintlichen
10 Bereich und der Datenprozessor überprüft, ob der richtige Bereich berührt, d. h.
erkannt wurde. Dabei kann auch kontrolliert werden, ob der Bediener die Bereiche
in der richtigen Reihenfolge, und bei Bedarf auch mit den korrekten Zeitdauern,
Kraftbeträgen und -richtungen, berührt hat. Der Erfolg, Mißerfolg oder eine Wer-
tung wird dann dem Bediener über die grafische und/oder akustische Ausgabe
15 mitgeteilt. In diesem Modus wird also der Bediener nach seinem Wissen abge-
fragt.

Nach Anspruch 3 weist die optisch-visuelle Anzeigevorrichtung einen Projektor
auf, der visuelle Informationen, wie Schrift oder Bilder direkt auf den berührten
20 Bereich projiziert, wobei auch eine Rückseitenprojektion vorgenommen werden
kann. Das setzt voraus, daß die Farbe und die Oberfläche des Modellbereiches
auf die Projektion abgestimmt sind. Wenn z. B. der Bediener mit zunehmender
Kraft auf den Lungenflügel des Modells drückt, werden tieferliegende Schichten
projiziert und dargestellt. Es ist dem Fachmann klar, daß diese Projektionen auch
25 auf separaten Bildschirmen angezeigt werden können.

Nach Anspruch 4 ist der Projektor als Videoprojektor ausgebildet. Damit ist es z.
B. möglich, den Bluttransport in der Lunge realitätsnah darzustellen, und somit
den Informationseffekt weiter zu erhöhen.

30

Es ist weiterhin zu erwähnen, daß es eine Reihe von intelligenten Algorithmen zur Auswertung der Signale der Kraft- und Momentenmeßvorrichtung gibt. Bei einem zerlegbaren anatomischen Modell vermindert sich z. B. bei der Herausnahme eines Organs die verbleibende Masse. Wenn z. B. die Massen der entfernbaren Organe unterschiedlich und bekannt sind, kann durch einfache Gewichtsklassifizierung das abgenommene Organ bestimmt werden. Es ist weiterhin möglich, die Änderung des Schwerpunktes des Modells bei der Entfernung eines Organs zur Bestimmung heranzuziehen. Wird ein bestimmtes Organ entnommen, so wird über die Kraft- und Momentenmeßvorrichtung nicht nur eine Gewichtsverringerung registriert, sondern in der Regel auch ein Kippmoment festgestellt. Es ist ferner zur Verringerung der Verwechslungsgefahr möglich, Algorithmen zur Plausibilitätsprüfung vorzusehen. Wenn z. B. zwei Organe gleich schwer sind, aber hintereinander liegen und somit nur in der vorbestimmten Abfolge entnehmbar sind, kann somit das gerade entnommene Organ trotz Gewichtsgleichheit eindeutig identifiziert werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen und schematischen Zeichnungen näher erläutert:

- Fig. 1a - f zeigt die Anwendung der Erfindung an einem anatomischen Torso.
- Fig. 2 zeigt die Anwendung der Erfindung an einem Modellohr für die Akupunkturausbildung.
- Fig. 3 zeigt eine Ausführungsform mit geteiltem Modell.
- Fig. 4a, b zeigt eine Ausführungsform der Erfindung für eine nichtmedizinische Anwendung.

Fig. 1a zeigt einen künstlichen, offenen Oberkörper 1 (Phantomtorso) mit abnehmbaren Organen. In dieser Ausführungsform dient die Erfindung der Unterstützung der medizinischen Ausbildung. Der Torso ist auf einem 6-Komponenten Kraft-Momenten-Sensor 2 montiert. Sensordaten münden in eine Datenverarbei-

tungsvorrichtung mit grafischer und akustischer Ausgabe. Auf den einzelnen Organen sind mehrere kleine Punkte in gelber, blauer und grüner Farbe aufgebracht. Berührt beispielsweise ein Medizinstudent eines der Organe oder einen bestimmten Organbereich, so wird ihm akustisch der Name des entsprechenden Organs bzw. Bereichs mitgeteilt. Gleichzeitig wird an einem Monitor der Torso als künstliches Abbild in schattierter Darstellungsweise wiedergegeben und der Name des berührten Bereichs eingeblendet. Die berührten Strukturen können in der grafischen Animation farblich hervorgehoben werden. Selbst sehr kleine anatomische Strukturen, wie z. B. Blutgefäße, Äderchen, Nervenverläufe, Muskelansatzstellen, können sichtbar gemacht werden. Berührt der Bediener dann den gelben Punkt auf dem künstlichen Organ des Torsos, wird ihm eine fotorealistische Darstellung des Organs bzw. Organbereichs auf dem Monitor präsentiert. Bei dem blauen Punkt werden physiologische Bedeutung und mögliche Pathologien grafisch wie auch akustisch beschrieben. Mit dem grünen Punkt können schließlich grafische Animationen und Filme mit Ton gestartet werden. Ferner kann mit steigender Druckkraft auf ein Organ oder die Haut des Torsomodells wie mit einem Nadelstich in die Tiefe eingetaucht werden. Dabei werden die verschiedenen Körperschichten und internen Ansichten grafisch animiert dargestellt. Im Abfragemodus (Kontrollmodus) kann eine künstliche Stimme den Bediener dazu auffordern, einen bestimmten anatomisch relevanten Bereich zu berühren. Die berührte Stelle wird dann mit der Datenverarbeitungsvorrichtung registriert und das Ergebnis dem Bediener akustisch und graphisch mitgeteilt und kommentiert.

Fig. 1 b zeigt, wie der Bediener eines der Organe vom Torso entnimmt. Der Sensor registriert dadurch ein verändertes Gewicht und eine Schwerpunktverlagerung. Da die Gewichte der Einzelkomponenten bekannt sind, kann automatisch erkannt werden, welches Organ entnommen wurde. Die künstliche Darstellung des Torsos auf dem Monitor paßt sich dann entsprechend an den veränderten Torso an.

Fig. 1c zeigt, wie nach der Entnahme mehrere Organteile tiefer liegende Strukturen, die bisher nicht sichtbar waren, nun sichtbar werden und weiter durch Berührungen und mit akustisch-grafischer Unterstützung exploriert werden können.

- 5 Fig. 1d zeigt ein verändertes graphisches und akustisches Display, bei dem ein Stereodatenhelm (Head-Mounted-Display, HMD) verwendet wird. Durch die Projektion zweier getrennter Bilder wird auf beide Augen ein realistischer dreidimensionaler Bildeindruck erzielt. Die Akustik wird dem Bediener über einen Stereokopfhörer vermittelt.

10

Fig. 1e zeigt ein verändertes graphisches Display, bei dem die Text- und Bildinformation direkt auf das berührte Modell projiziert wird. Dies kann beispielsweise mit einem handelsüblichen Projektionsbeamer geschehen, wobei in diesem Beispiel die Modelloberfläche weiß oder einfarbig hell sein sollte.

15

Fig. 1f zeigt eine Ausführungsform, bei der der Phantomtorso mit zwei Mehrkomponenten-Sensoren 2a, 2b befestigt ist. Die entsprechenden Kraft- und Momentensignale werden vektoriell addiert und schließlich als Summensignal, das dem Signal eines einzelnen Sensors entspricht, in der Datenverarbeitungsvorrichtung
20 weiterverarbeitet.

Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform, bei der ein Phantomohr für die Akupunkturausbildung verwendet werden kann. Das Phantomohr ist mit einem Kraft-Momenten-Sensor 2 verbunden. Auf dem Ohr sind die wichtigsten Akupunkturpositionen markiert. Wenn der Bediener mit einem spitzen Gegenstand, der einer Akupunktunadel gleicht, das Phantomohr berührt, so sagen ihm eine Stimme und das Monitorbild, welchen Namen und welche Bedeutung der anvisierte Punkt haben. Die akustische Ansage und Texteinblendungen sind bei diesem Anwendungsbeispiel auch deshalb sinnvoll, weil für die Bezeichnungen und Bedeutungen der Punkte
25 auf dem Ohr nicht genügend Platz vorhanden ist. Ton und Bild können den Bediener auch bei der Suche eines gewünschten Punktes zurechtweisen. Dabei kann
30

auch geprüft werden, wieviel Zeit der Bediener bei der Suche eines bestimmten Punktes benötigt, und in welcher Reihenfolge er die Punkte anfährt.

Fig. 3 zeigt eine Ausführungsform, bei der das Modell geteilt ist. Dabei ist das rechte Modellteil tischseitig mit einem Kraft-Momenten-Sensor 2a verbunden. Das linke Modellteil ist dagegen über einen weiteren Kraft-Momenten-Sensor 2b mit dem rechten Modellteil verbunden. Der Sensor 2b stellt das einzige Verbindungselement zwischen dem rechten und linken Modellteil dar. Durch diese Anordnung können zwei Kräfte – eine je Modellteil – eingeleitet und lokalisiert werden. Dadurch sind auch beidhändige Zeigeeaktionen möglich. Bei der Datenverarbeitung können die am linken Teil angreifenden Kräfte eindeutig mit dem verbindenden Sensor 2b weiterverarbeitet werden. Da jedoch der tischseitige Sensor 2a die Kräfte beider Modellteile aufnimmt, müssen zur Lokalisierung des rechten Kontaktpunkts beide Sensorausgänge miteinander kombiniert werden. Dazu werden die Kraft- und Momenten-Daten des verbindenden Sensors komponentenweise, d. h. vektoriell von den Kraft- und Momenten-Daten des tischseitigen (in einem gemeinsamen Koordinatensystem) subtrahiert.

Fig. 4a zeigt ein Modellauto, das auf einem 6-Komponenten Kraft-Momenten-Sensor 2 montiert ist. Die Kraft-Momenten-Daten werden in eine Datenverarbeitungsvorrichtung geleitet, die über einen Tongenerator (Soundkarte) eine akustische Ausgabemöglichkeit aufweist. Die Datenverarbeitungsvorrichtung beinhaltet ein mathematisches Abbild der Modellautogeometrie. Das Modellauto setzt sich aus einer Vielzahl von kleinen Komponenten wie z. B. Rädern, Türen, Stoßstangen, Scheinwerfer zusammen. Sobald der Bediener (Museumsbesucher), eines der Komponenten einmal kurz mit seinem Finger berührt, hört dieser über den Lautsprecher den Namen der berührten Komponente. Klopft er 2 mal kurz hintereinander auf das selbe Element, so wird ihm die Funktion kurz näher erläutert. Gleichzeitig mit der Übermittlung der akustischen Information erscheint auf einem Monitor eine animierte Abbildung des Modells mit einer farblichen Hervorhebung des berührten Teils und einer Textbox, in der die Funktion näher erklärt wird. Ein

11
einmaliges langes Drücken läßt einen kurzen Film starten, in dem der Herstellungsprozeß des berührten Teils geschildert wird.

Fig. 4b zeigt eine Ausführungsform, bei der das Modellauto mit zwei Mehrkomponenten 2a, 2b befestigt ist. Die entsprechenden Kraft- und Momentensignale werden vektoriell addiert und schließlich als Summensignal, das dem Signal eines einzelnen Sensors entspricht, in der Datenverarbeitungsvorrichtung weiterverarbeitet.

Es ist klar, daß anstelle des Modellautos auch ein realer Gegenstand, z. B. auch ein Auto mit der Erfindung ausgerüstet werden kann. Der besondere Wert im Anwendungsbereich Museum, Ausstellung oder Messe besteht zweifellos in der neuartigen Interaktion des ausgestellten Gegenstandes mit dem Publikum, dem es bisher häufig nicht gestattet wurde, die Ausstellungsstücke zu berühren.

5

Ansprüche

10 1. Lehr- und Lernvorrichtung mit folgenden Merkmalen:

- ein zu berührender 3D-Körper (1), der über wenigstens eine
- Mehrkomponenten Kraft- und Momentenmeßvorrichtung (2) fest mit der Umge-
- bung verbunden ist,
- eine Speicher- und Auswerteelektronik,
- 15 - eine optisch-visuelle und/oder akustische Anzeigevorrichtung, wobei
- die Kraft- und Momentenmeßvorrichtung die bei einer Berührung des Modellkör-
- pers auftretenden Kräfte und Momente in elektrische Meßsignale umwandelt, die
- der Speicher- und Auswerteelektronik zugeführt werden, wobei in der Speicher-
- und Auswerteelektronik
- 20 - ein mathematisches Modell von der Geometrie des 3D-Körpers implementiert ist
- und
- ein Algorithmus, der aus den bei der Berührung ermittelten Kräften und Momen-
- ten die Berührungsstelle am 3D-Körper errechnet, die als Signal mittels der op-
- tisch-visuellen und/oder akustische Anzeigevorrichtung der berührenden Bedien-
- 25 - person angezeigt wird.

2. Lehr- und Lernvorrichtung mit folgenden Merkmalen:

- ein zu berührender 3D-Körper (1), der über wenigstens eine
- Mehrkomponenten Kraft- und Momentenmeßvorrichtung (2) fest mit der Umge-
- 30 - bung verbunden ist,
- eine Speicher- und Auswerteelektronik,

- eine optisch-visuellen und/oder akustische Anzeigevorrichtung, wobei
- die Kraft- und Momentenmeßvorrichtung die bei einer Berührung des Modellkörpers auftretenden Kräfte und Momente in elektrische Meßsignale umwandelt, die der Speicher- und Auswerteelektronik zugeführt werden,
- in dem Speicher der Speicher- und Auswerteelektronik Kraft- und Momentenmeßsignale vorbestimmter Berührungspunkte gespeichert sind und
- ein Zuordnungsalgorithmus implementiert ist, der aus den ermittelten Kräften und Momenten die Berührungsstelle am 3D-Körper zuordnet, die als Signal mittels der optisch-visuellen und/oder akustische Anzeigevorrichtung der berührenden Bedienperson angezeigt wird.

3. Lehr- und Lernvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die optisch-visuellen Anzeigevorrichtung einen Projektor aufweist, der visuelle Information, wie Schrift oder Bilder direkt auf den berührten Bereich projiziert.

4. Lehr- und Lernvorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Projektor ein Videoprojektor ist.

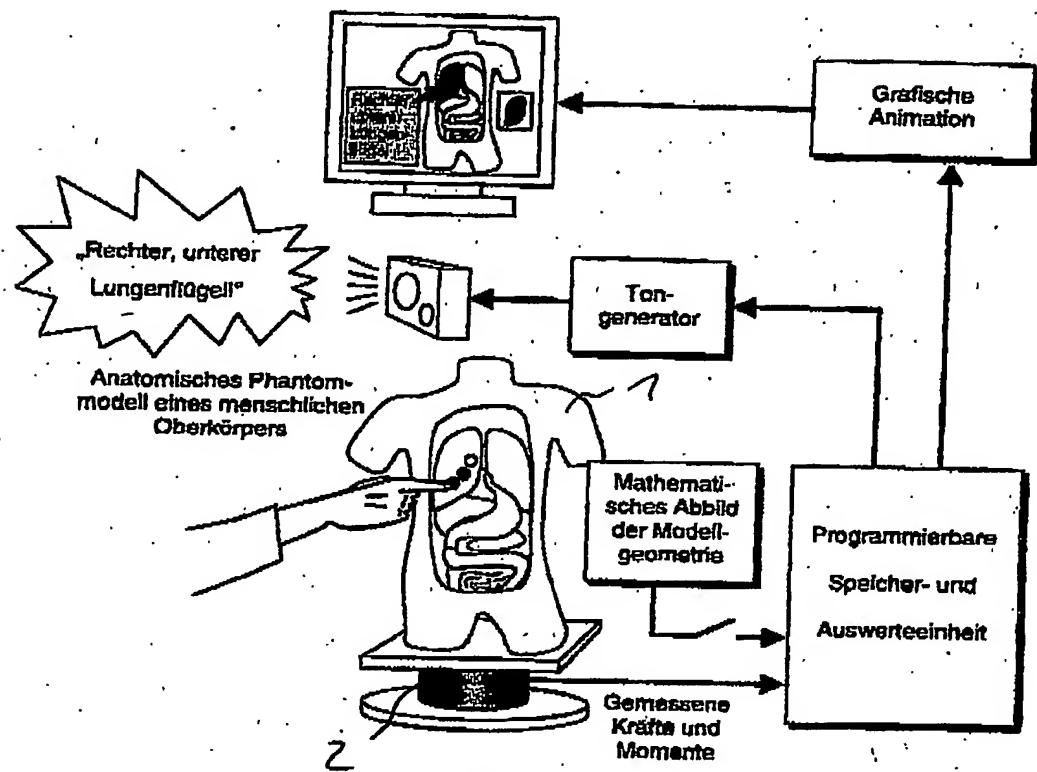


Fig. 1a

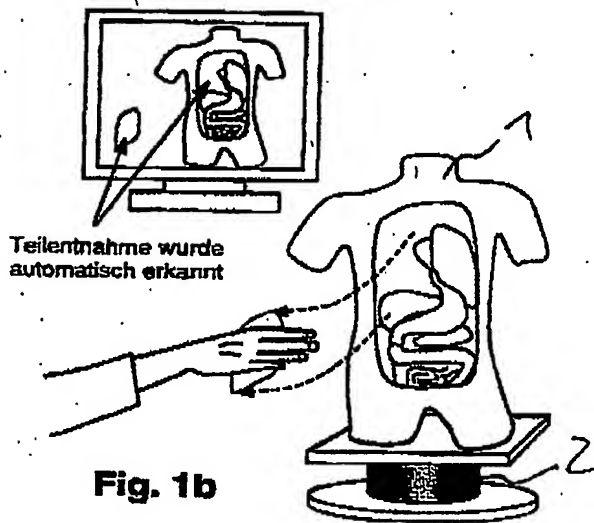


Fig. 1b

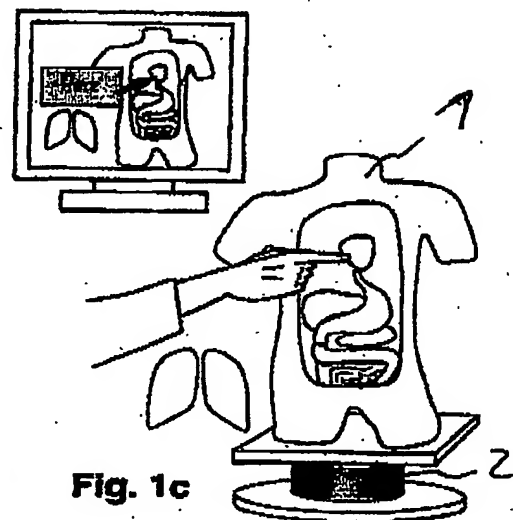


Fig. 1c

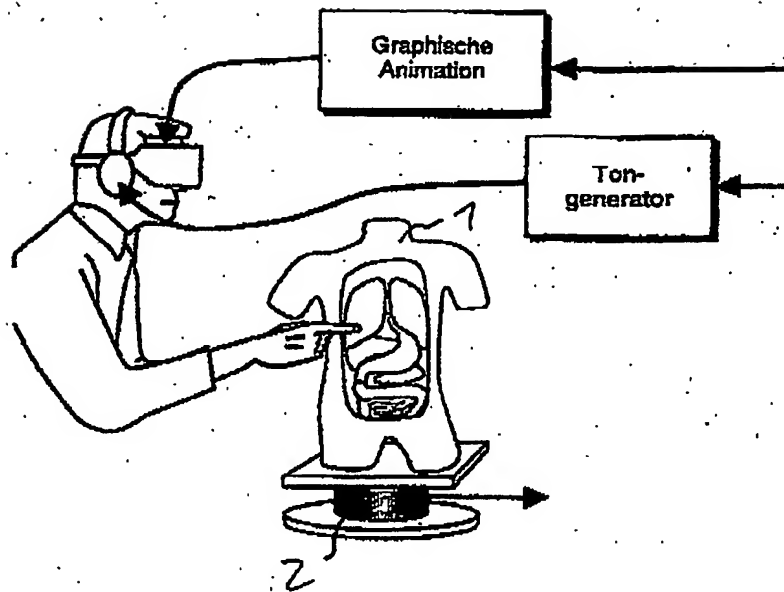


Fig. 1d

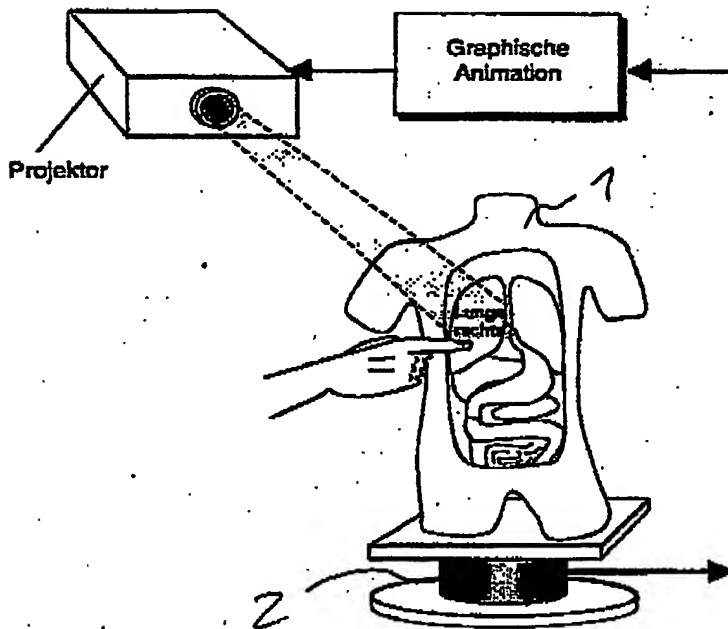


Fig. 1e

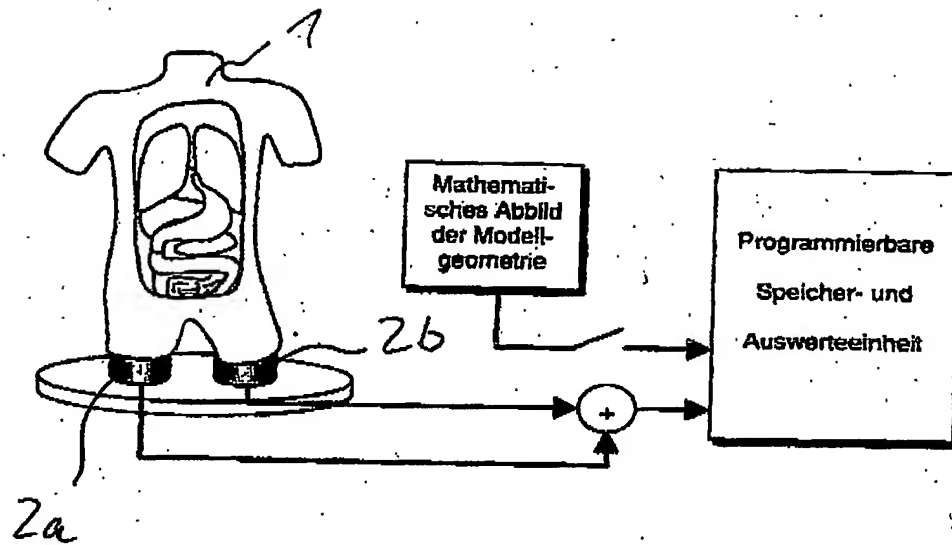


Fig. 1 f

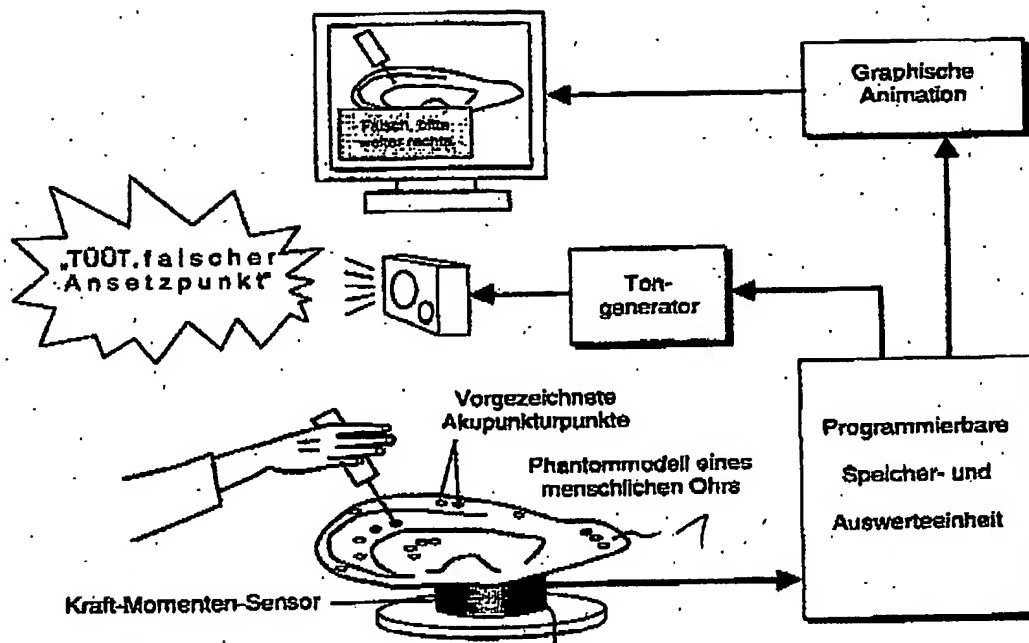
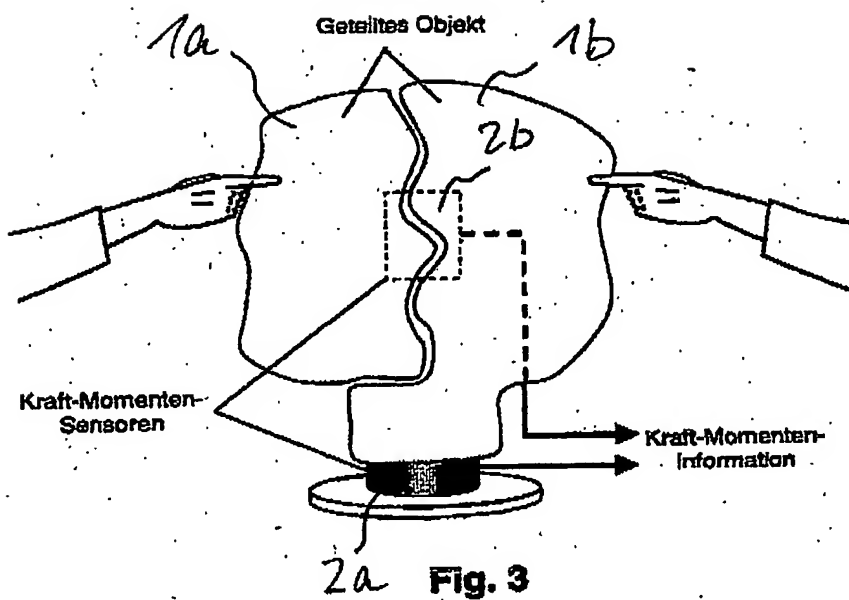


Fig. 2



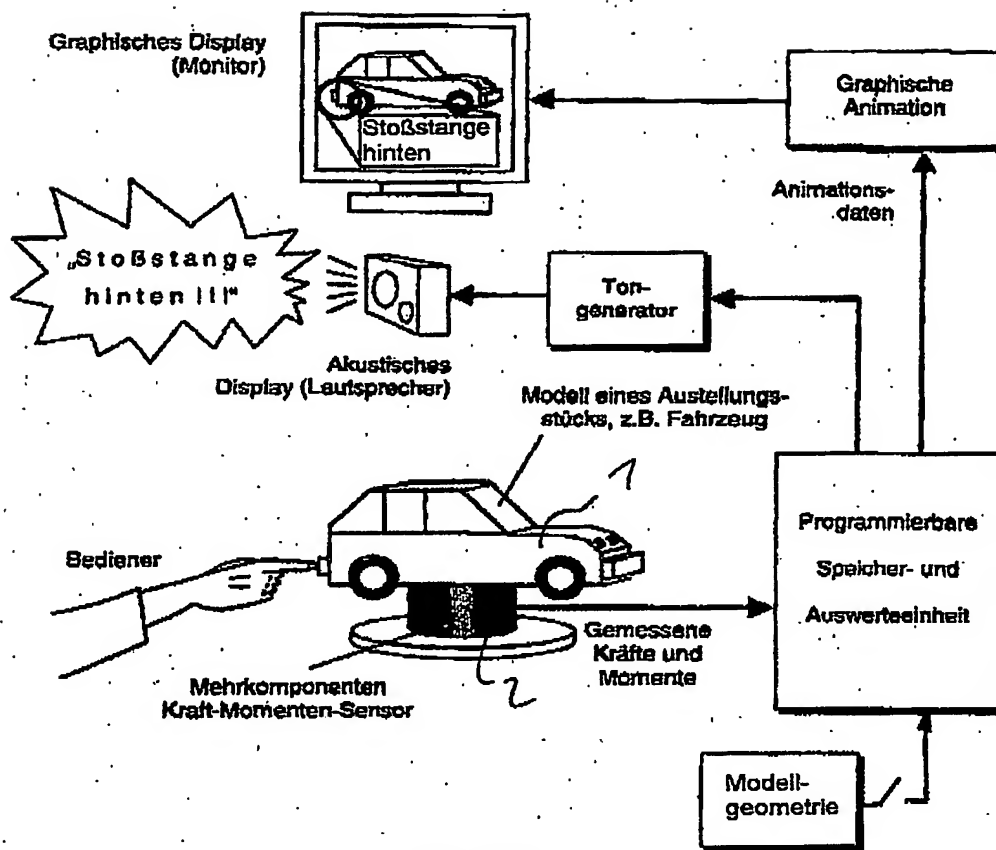


Fig. 4 a

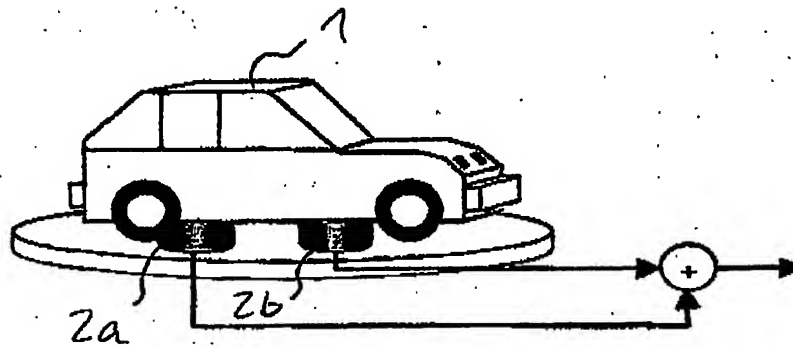


Fig. 4 b